新疆塔里木河流域水系连通与生态保护对策研究

陈亚宁* 郝兴明 陈亚鹏 朱成刚

1 中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室 乌鲁木齐 830011
2 中国科学院大学 北京 100049

摘要 塔里木河是我国最大的内陆河，由“九源一干”144 条河流水系构成。目前仅阿克苏河、和田河、叶尔羌河以及开都—孔雀河与塔里木河干流有地表水力联系。流域内水系连通与生态保护问题十分突出，断流河道下游成为过去30 年塔里木河流域生态退化最为严重区域。文章结合实地调研和样地调查，系统分析了塔里木河流域水系连通存在的问题，指出流域水系连通性差，抵御极端气候水文事件的能力不足；耕地面积不断扩大，农业用水比例过高，严重挤占了生态用水，导致河道断流，河流肢解，流域水系统完整性被破坏；地下水超采引起地下水位大幅下降，地表生态过程受损，生态隐忧凸显。针对此提出：（1）从机制、体制上推动和实现塔里木河流域水资源科学管理，将断流的5 源流纳入塔里木河流域管理局统一管理；（2）科学确定绿洲适宜规模，退耕还水，以水定地、以水定发展；（3）实施流域地表水、地下水统一管理，提升流域水资源监控与综合调度管控能力。

关键词 内陆河，水系连通，断流河道，生态受损，塔里木河

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.10.018

河湖水系连通是指以江河、湖泊、湿地以及水库等为基础，通过适当的疏导、沟通、引排、调度等措施建立或改变江河湖库水体之间水力联系的行为[1]，是一个多目标、多功能、多层次、多要素的复杂水网巨系统[2]。2011 年的中央 1 号文件和中央水利工作会议明确提出，尽快建设一批河湖水系连通工程，提高水资源调控水平和供水保障能力①。至此，河湖水系连通相关研究逐渐成为水科学研究的热点。基于大量的理论探讨与研究，当前对水系连通的理论基础、研究内容、研究方法以及水系连通工程的分类等方面已

* 通讯作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（XDA20100303），中国科学院科技服务网络计划项目（KFJ-STS-ZDTP-036）
修改稿收到日期：2019年9月30日
① 李原园、李宗礼、郦建强等在2012年中国水利学会学术年会所作特邀报告：《水资源可持续利用与河湖水系连通》。

形成了共识和较成熟的理论体系[2-6]。在水系连通的实践方面，国内外已有一批具有影响力的成功案例。例如：澳大利亚的雪山调水工程，巴基斯坦的西水东调工程，以及埃及的阿斯旺高坝调水工程等[4]；国内主要有南水北调、引黄入京、引滦入津工程，以及桂林两江四湖、杭州西湖、南昌三河四湖、银川艾依河七十二连湖等河湖水系连通工程[7,8]。这些工程的实施与运行，丰富了水系连通的研究内容，深化了理论基础，并为后续的有关研究与工程实施提供了重要的参考。然而，河湖水系连通研究也同时面临着挑战：如何使水系格局与社会经济发展格局相匹配，如何应对气候变化的不确定性，如何突出河湖水系连通的学科交叉性与综合性，以及如何规避水系连通可能产生的负效应[9]。并且，在有关水系连通的研究与实践中，也发现了一些问题。比如：水系连通可能导致平原地区土壤盐渍化，原先河流中竞争性较弱的物种可能死亡，甚至灭绝，区域地表的水循环可能造成下游地区泥沙淤积量增加以及河网水系连通后水质变化的不确定性等问题[10]。中国南方和东部地区水资源丰富，水系发育，河网密集，水系连通的理论与实践丰富。然而，有关干旱区内陆河流域水系连通方面的研究和案例较少。

新疆塔里木盆地是“丝绸之路经济带”建设的核心区，与中亚地区的塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、巴基斯坦、阿富汗等国接壤，具有重要的地缘政治意义，并且在我国构建全方位对外开放格局中具有重要的战略地位和作用。塔里木盆地位于天山、昆仑山、阿尔金山之间，是距海洋最远的典型的内陆盆地；其周边为高山环抱，中部为塔克拉玛干沙漠，盆地内几乎所有的河流都发源于山区，均为内陆河，经绿洲用水，最后湮灭沙漠中。该区域自然资源的相对丰富与生态环境的极端脆弱交织在一起，水资源开发过程中的生态与经济的矛盾十分突出，河道断流、干支流肢解，河流生态服务功能下降。尤其是在全球变化背景下，盆地内绿洲化与沙漠化过程以及人地关系协调发展等均面临巨大的挑战。全球变暖加剧了水资源不确定性，加大了经济社会和生态用水矛盾，引发的跨境河流水资源争端不断，水问题以及由水短缺引发的生态问题日益突出，成为“丝绸之路经济带”生态文明建设关注的热点区域。本文解析了塔里木河流域水系统及水管理存在的问题，并结合原因分析，提出了塔里木河流域水系连通与水资源可持续利用对策。

1 流域概况及数据来源

1.1 流域概况

塔里木河流域面积约为 102×10^4 km^2，是 9 大源流、144 条河流水系的总称，地表径流总量约 398×10^8 m^3，主要由高山区冰雪融水、中山带森林降水和低山带基岩裂隙水三元组成[11]。目前，在塔里木河流域 9 源流中，与塔里木河干流保持有地表水力联系的仅有阿克苏河、和田河以及叶尔羌河。其中，阿克苏河与塔里木河干流保持常年的地表水力联系，是塔里木河的主要补给水源。和田河和叶尔羌河仅在丰水期短暂补给干流，其余时间均为断流状态。此外，开都—孔雀河流域在孔雀河下游通过库塔干渠与塔里木河干流下游连接在一起，这也是塔里木河下游生态输水的主要途径之一。由此形成了塔里木河目前“四源一干”的补给模式。迪那河、渭干—库车河、喀什噶尔河、克里雅河和车尔臣河 5 源流都先后断流，与塔里木河干流失去了地表水力联系（图 1）。

1.2 数据来源

本文所采用植被指数（NDVI）数据是由“高分一号”（GF-1号）卫星提取，数据预处理包括：辐射定标、大气校正和正射校正，再根据近红外与红外波段的加减运算，最后得到 NDVI 值。之后利用 ArcMap 软件和 ENVI 软件计算植被盖度。本文 NDVI 数据解译的时间是 2016—2018 年，每年 7 月份，数据来源于遥感

集市②，空间分辨率为16 m，重访周期为4天。

本文所采用的蒸发和空气温度来源于GLDAS数据集，数据模式选用的是诺亚陆面模型③，时间尺度为月数据，空间分辨率为0.25°。土壤含水量数据选自再分析数据④，时间覆盖范围是1979—2015年，时间尺度为月，空间分辨率为0.25°×0.25°。陆面部分采用TESSEL（Tiled ECMWF Scheme for Surface Exchange over Land）模式，垂直分4层，分别是：0—7、7—28、28—100和100—255 cm。

结合塔里木河下游生态输水工程，沿塔里木河下游输水河道，设置了9个观测断面，前6个断面间距约20 km，后3个断面的间距为45 km。根据植被状况，沿地下水监测断面，共布设了44个植物样地。样地大小为50 m×50 m，在每个样地中，再以25 m为间隔设置成4个25 m×25 m的乔木灌木样方，记录每种乔木（或灌木）的个体数、盖度、胸径、基径、高度、冠幅等指标；同时，样方内设置4个5 m×5 m的草本样方，分别记录每种草本的个体数、盖度、高度、冠幅、频度等指标。在每个样地内，挖掘土壤剖面，每20 cm为一层，获取0—100 cm土层内土样样品，并通过烘干法计算各土层的土壤体积含水率。以上数据调查时间为2010—2015年。

2 塔里木河流域水系统问题分析

2.1 流域水系连通性差，抵御极端气候水文事件的能力不足

根据塔里木河流域水资源配置方案，在源流区来水量保证率为75%时，阿克苏河向塔里木河干流供水26.41×10^8 m^3（占来水量的50.26%），和田河向干流上游供水6.39×10^8 m^3（占来水量的41.87%），开都—孔雀河向干流下游供水2.86×10^8 m^3（占来水量的8.15%），至于叶尔羌河则无水进入塔里木河干流[12]。塔里木河干流总水量的74%来源于阿克苏河，17.91%来源于和田河流域。显然，这种高度依赖单一源流的补给模式很难应对未来极端气候水文事件以及人类活动负面影响的威胁，干流水量的稳定性存在极大的不确定性。塔里木河流域管理局目前管辖的阿克苏河、和田河、叶尔羌河及开都—孔雀河4个源流水资源量尚不足流域水资源总量的55%，难以实现对流域内水资源的有效管理和科学配置，应对未来气候变化带来的流域水资源风险。

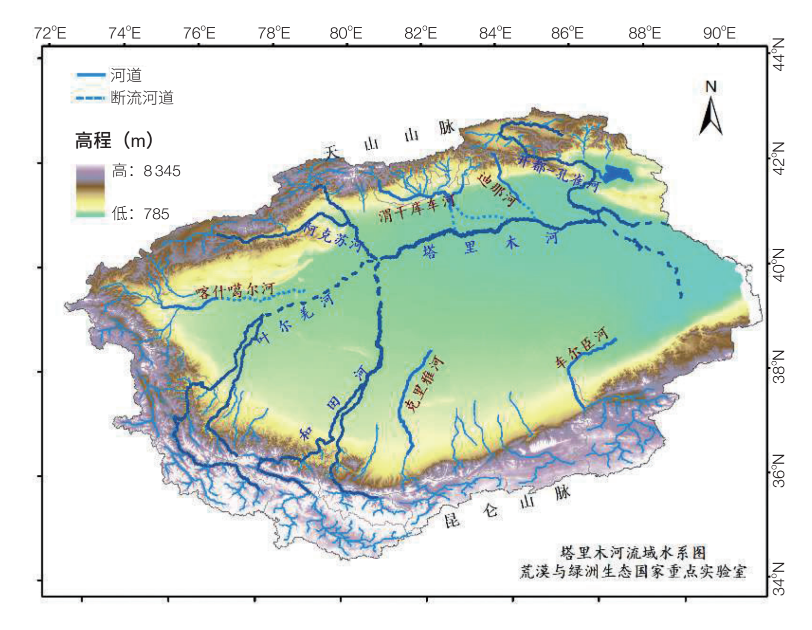


图1 塔里木河流域水系分布图

2.2 河道断流，流域水系统完整性破坏

作为典型的干旱区内陆河，塔里木河流域水循环模式因“山地-绿洲-荒漠”的地貌景观格局特征，表现为上游山区产水、中游绿洲区耗水和下游荒漠区生态缺水的结构。河道断流，打破了流域水系统的完整性，尾闾湖泊干涸，水生态严重受损，绿洲内的盐分也因无法随水带出而聚集在绿洲，导致绿洲内的土壤盐渍化问题不断加重。据统计，塔里木

② http://www.rscloudmart.com/dataProduct/datacenterStandardData.

③ Noah Land Surface Model: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=GLDAS.

④ ERA-Interim: https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/.

河流域约 48% 耕地存在不同程度的土壤盐渍化[13]；同时，河道断流，导致下游荒漠区自然植被衰败甚至大片死亡[14,15]。遥感影像解译结果显示，塔里木河流域 2015 年的天然林地面积与 2000 年相比，减少了 6.6%，减少的区域主要分布在开都—孔雀河、和田河、叶尔羌河以及迪那河流域；中、低覆盖度草地面积减少了 9.2%、12.4%，减少的区域主要分布在阿克苏河流域与渭干—库车河等流域；天然植被面积减少的同时，裸地面积增加了约 2.9%。塔里木河流域的这些断流河道下游是过去 30 年塔里木盆地生态退化最为严重区域。值得一提的是，孔雀河中下游自 2017 年开始实施生态输水以来，沿河生态出现明显好转（图 2）。

2.3 地下水位大幅下降，地表生态过程受损严重

在干旱区，地下水（土壤水）是维系荒漠植被的重要水源。自 2000 年以来，伴随塔里木河流域耕地面积的不断扩大和用水量的大幅增加，地下水开始出现超采现象。统计结果表明：① 阿克苏河、叶尔羌河、渭干—库车河和开都—孔雀河流域在过去的 10 余年间，地下水机井数量大幅增加，地下水超采问题已经十分突出。新疆地下水开采量红线为 75×10^8 m^3，实际开采量达 118×10^8 m^3，超出地下水开采红线 57%，部分地区超过红线 130%，导致地下水位出现大幅下降，掉泵现象严重，并且提水成本增加，对农业生产的负面影响已经凸显；② 有些地下水井布设在河道附近，地下水的超采加大了对河道地表水的袭夺，导致河损加大，河道来水量减少，不仅影响到流域水资源管理，而且对水系连通造成直接影响；③ 地下水超采引起的地下水位大幅下降，还对地表生态过程产生直接影响。

值得一提的是，全球变暖加大了干旱区蒸发力，导致土壤水分无效耗散增加（图 3），荒漠区一些浅根系、耐旱性差的天然植被因干旱胁迫而死亡。研究结果显示，土壤体积含水率 0.15 cm^3/cm^3，相当于地下水埋深 3.5—4 m。该值是多样性指数变化的一个阈值，土壤水分散失过程中，物种数目减少强于物种个体数减少（图 4），地表覆盖度降低，地表起沙风阈值降低，绿洲面积扩大的同时，区域内风沙天气（扬尘、浮尘）增多。地下水位下降、土壤水分散失引发的生态退化、土地沙化等已严重影响了南疆绿洲环境质量和经济健康发展，并加剧了区域贫困，加大了脱贫难度。

3 塔里木河流域水系统问题成因分析

3.1 塔里木河流域水系变迁及驱动因素

塔里木河在历史演变过程中河道摆动非常明显。

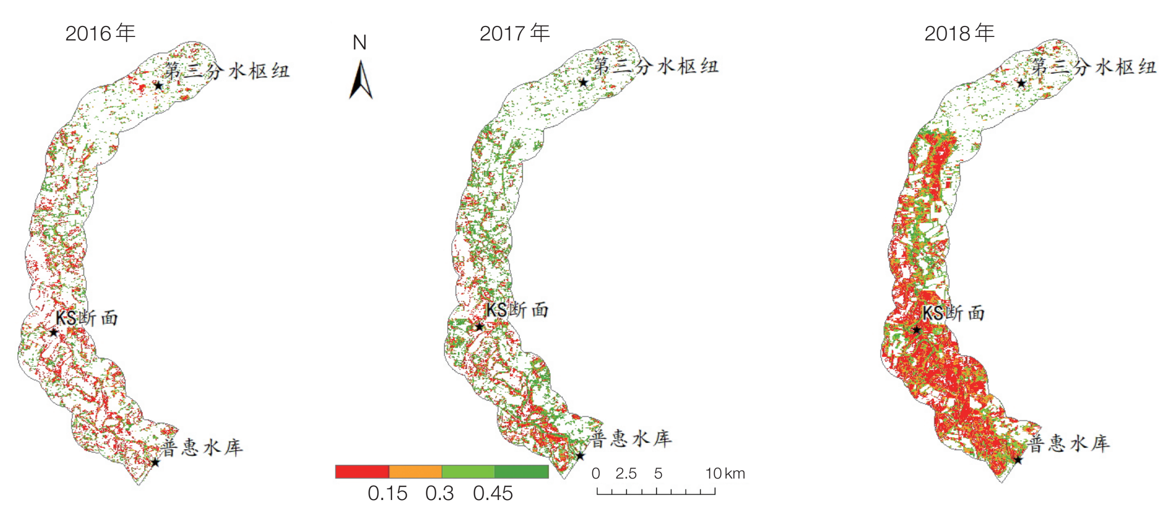


图 2　2016—2018 年孔雀河第 3 分水枢纽——普惠水库段植被覆盖度变化

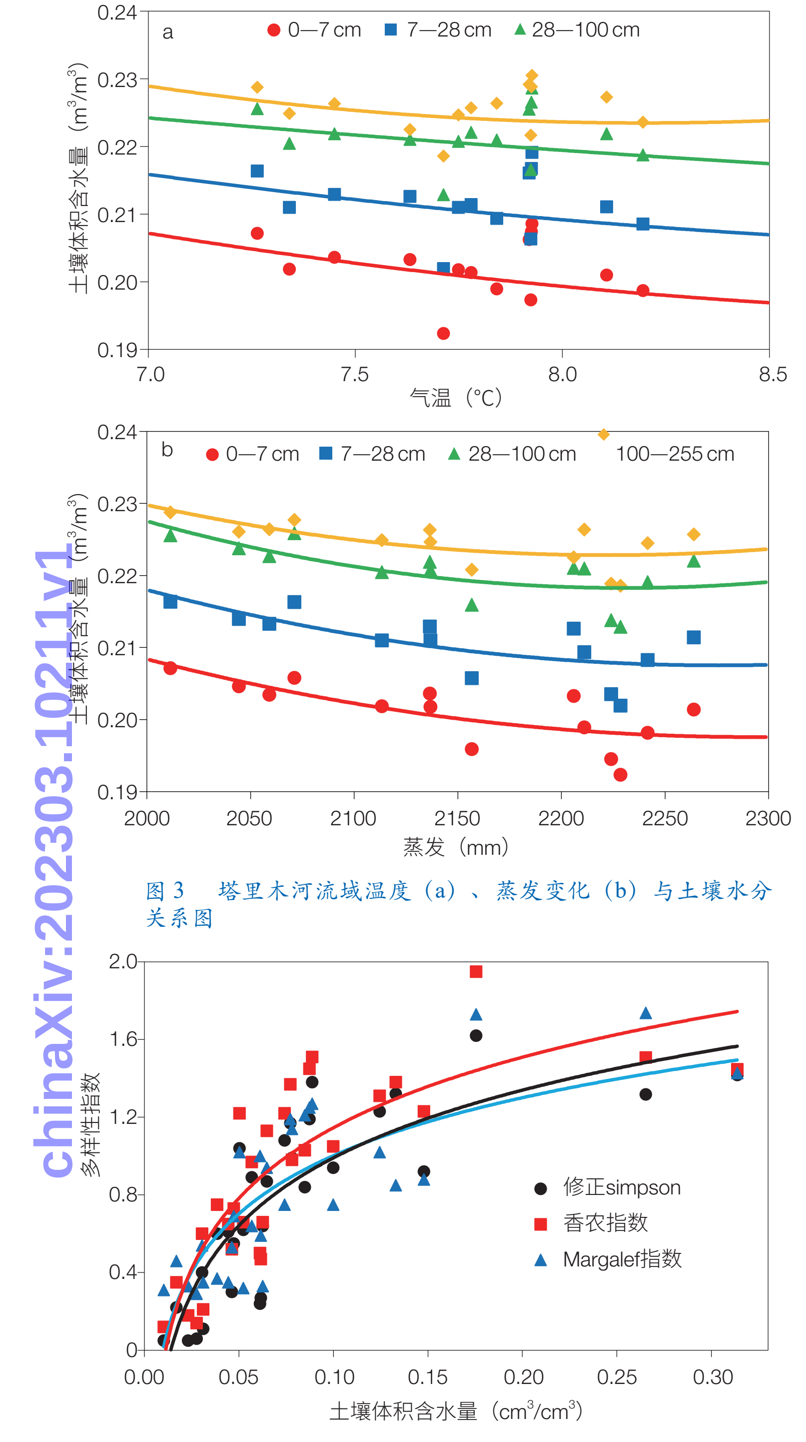


图 3　塔里木河流域温度（a）、蒸发变化（b）与土壤水分关系图

图 4　不同土壤水分下的物种多样性变化

北魏以前，塔里木河由南、北两河构成；北魏至唐中期，塔里木河南河北移 200 km、北河下段北移 60—85 km；唐中期至元代南河北移 30—40 km；元至清初南河南移 20—50 km；清初南河并入北河又使其北移 50—70 km；清中期至民国，塔里木河干流反复南北摆动，无明显北移。在长历史时期中塔里木河河道摆动与该区域构造运动、地势特征、盛行风和沙丘移动、大气候变动以及水量变化等都具有紧密联系[16]。1949 年后，由于缺乏监督和管理意识淡薄，塔里木河干流被人为私扒了上百处引水口。这些引水口绝大部分没有引水控制设施，导致河道出现一次大的摆动。例如，1960 年牧民乌斯满在塔里木河中游扒口引水引起塔里木河主流于 20 世纪 70 年代改道北移了 50—100 km；若从更长的时期来考虑，1949 年后中游段北移可能是塔里木河自清代以后又一次南北摆动期的开始。此外，下游卡拉水库和大西海子水库的建成蓄水造成下游自 1972 年以后长达 30 年的断流。2000 年后对下游进行生态输水又使河道重新来水。塔里木河下游的尾闾湖—台特马湖，也从当初的完全干涸到现在已形成了近 200 km^2 的水域面积。以上 3 次事件充分说明人为因素是导致近 100 年以来塔里木河干流水系变迁的重要原因之一。并且，随着生产力的发展，未来人类活动对塔里木河径流的干预可能进一步增强，对塔里木河河道变迁及径流变化的影响还会进一步加大。

3.2 近 50 年人类活动对流域水文生态过程的影响

（1）耕地面积不断扩大，强烈挤占了生态空间。塔里木河流域耕地面积呈持续扩大态势。在 2000—2015 年间，以 10.25×10^4 hm^2/yr 的速度扩大，由 2000 年的 288×10^4 hm^2 扩大至 2015 年的 442×10^4 hm^2，增加了 53.31%。从区域分布看，近 16 年来塔里木河流域的新增耕地主要分布在河流中下游、湖泊湿地周边及下游断流河道的河床中。例如：阿克苏河主要是河道两岸及下游灌区增加迅速；叶尔羌河的新增耕地主要位于下游河道两侧；和田河流域的新增耕地集中分布在玉龙喀什河与喀拉喀什河中段河道两侧及下游断流河道的河床中；渭干—库车河灌区 2015 年耕地面积比 2000 年增长了约 45.4%，主要分布在渭干、库车河南部地区；开都河—孔雀河流域

耕地主要分布在塔什店至阿克苏甫河段之间的区域。1975—2015年，孔雀河流域的普惠—尉犁段耕地面积从10.6万亩增加到130.1万亩；尤其2005—2010年，耕地由57.13万亩增加到117.30万亩，平均每年增加12.03万亩。耕地面积的持续扩大，强烈挤占了生态空间，导致荒漠-绿洲过渡带萎缩，生态屏障功能下降。同时，在断流河道下游河床中开垦种地破坏了行水河道，极大影响了断流河道的水系连通。

（2）水资源利用效率低下，农业用水比例过大加剧水紧张。塔里木河流域万元GDP用水619 m^3，远高于全疆平均水平（487 m^3）和全国平均水平（81 m^3）；从用水结构看，农业用水比例过大，用水结构严重失调，流域内的农业用水比例长期高达95%左右，远高于全国平均水平（65%）和世界平均水平（70%）。2016年新疆社会经济用水量为585×10^8 m^3，远超2020年规划目标（526×10^8 m^3）。其中，2016年的南疆农业用水超出2020年农业用水规划目标的98.1×10^8 m^3。目前，塔里木河流域水资源开发已经极大地超过了区域水资源承载力。绿洲农业生产的过度用水不仅导致下游河道断流，而且强烈挤占了生态用水，引发周边荒漠生态系统受损。在塔里木河流域，以山地、荒漠为主体；绿洲面积仅占5%，却承载着98%的人口，生产了95%的GDP。然而，绿洲多沿河道展布，被荒漠分割、包围，荒漠生态保育与荒漠环境的稳定对绿洲经济社会的可持续发展至关重要[17]；耕地面积的持续扩大和农业用水结构的不合理，加剧了流域生产、生态用水矛盾，致使流域生态用水难以得到保证。塔里木河流域生态隐忧日益凸显。

（3）中小型水库对水资源的拦截加剧了下游河道断流。塔里木河流域“九源一干”共有大小水库110座（截至2012年），其中中型水库40座，小型水库57座。按水库所在区域划分，平原水库有102座。这些水库及其与之配套的水利工程，使各灌区形成了较为完善的蓄水、引水、输水系统，促进了灌溉农业的发展。然而，这些水库当中超过一半都是小型平原水库，其中有些工程建设标准低，水库调蓄能力有限，蒸发渗漏严重，水利用率仅在40%—60%，造成水库周边地区土壤次生盐渍化加重。特别值得一提的是，在一些小型河流，夏季洪水原本作为河道生态用水，有效维系了河流下游荒漠区脆弱的生态系统。一些修建在小河流出山口的水库，完全拦截了河流夏季洪水，导致河流下游生态基流和荒漠区生态用水难以保障，加剧了下游河道断流和生态退化。在当前全球变化引发的极端气候水文事件增强背景下，要特别警惕突发暴雨引发的山口小型拦河式水库的溃决洪水问题，如2018年7月31日新疆哈密水库事件[18]。

4 塔里木河流域水系连通与水资源可持续利用对策

4.1 从机制、体制上推动和实现塔里木河流域水资源科学管理

（1）针对断流河道下游生态严重退化的现实。建议将迪那河、渭干—库车河、喀什噶尔河、车尔臣河和克里雅河等5源流断流河道纳入塔里木河流域管理局统一管理，统筹源流与干流以及河流上、下游，左、右岸的用水关系；加快实施河-湖-库水系连通和生态输水工程，修复断流河道下游的受损生态系统；积极推进生态型水利工程建设，实现流域水资源丰-枯互补、河-湖-库互济、区域空间与各河流间互调，提升水资源利用的有效性，构建塔里木河流域山-水-林-田-湖-草生命共同体，大力提升应对全球变化背景下极端水文事件和水资源风险的能力。

（2）针对地下水超采给农业生产和生态安全带来的问题。建议进一步深化南疆水利改革，完善塔里木河流域水资源管理体制，尽快实现塔里木河流域地表水与地下水的统一管理和联合调度，打破水资源开发和利用过程中的多元主体边界，区域水资源管理要服从流域管理；全面提升水资源对生态环境与经济社

会发展的支撑保障能力，推进乡村振兴、美丽家园建设，从水资源科学管理和绿洲生态安全保障体系建设方面助力南疆脱贫攻坚。

（3）针对塔里木河流域生态水权管理体制缺失、生态用水难以得到保障、生态环境监管乏力等问题。建议组建塔里木河流域生态环境监督管理局，建立塔里木河流域生态水权管理制度，完善生态水权与生态补偿管理体制；以塔里木河流域“九源一干”水资源量和“三条红线”为基础，确立流域生态水权，将生态水权制度纳入水资源管理体制，以法律形式确定下来，明晰塔里木河流域胡杨林生态管护的权责，落实和明确责任主体；将生态环境保护工作纳入地方领导责任考核中，构建包括林业、农业、环保及水行政管理等部门在内的生态环境管护与合作机制，确保南疆塔里木河流域生态安全与经济社会可持续发展。

4.2 科学确定绿洲适宜规模，以水定地、以水定发展

塔里木河流域河道断流的重要原因是耕地面积不断扩大和农业用水比例过大。同时，为了满足灌溉需水，一些修建在出山口和平原区的小型水库截断了河流，进一步加剧了河道断流。针对此，建议流域各绿洲应根据水资源总量、国民经济各部门需水量规划和生态用水指标，科学确定绿洲适宜规模，按需供水，以水定地、以水定发展。针对目前耕地面积过大、用水超量的现象，坚决实施生态退耕、还水，以保证山地、绿洲、荒漠生态系统的完整性和绿洲的生态安全。对已建的小型平原区拦河式水库，要根据流域水-生态-经济系统中主要问题，重新对水库效益和风险性评估，突出水库的生态用水调节功能。基于对流域中小河流的水文特征和生态保护目标的分析，从整个干旱区流域水系统完整性和生态安全出发，建议在一些小型河流下游不宜修建拦河式水库。

4.3 加强流域地表水、地下水动态监控能力建设

塔里木河流域现有国家及专用水文站 55 处，其中四源流地区共有水文站 24 处，塔里木河干流水文站 5 处，分属于自治区水文水资源局下属的和田、喀什、阿克苏和巴州 4 个水文水资源局，以及塔里木河管理局、兵团农一师和农二师四个系统。各级水文站的多头管理、运行导致各水文站运行链接不畅，使得水资源信息数据无法实现实时化监控，统一分析；地表水、地下水监控能力不足，难以准确反映水情信息和指导地表水、地下水的合理开采与联合利用；缺乏水量调度控制节点的动态、信息化数据，缺乏对供水、用水、排水、水质、地下水、生态、经济等全方位、全过程的监测。并且，各水文站管理标准不一，导致水文与环境监测项目指标不统一，观测项目接口不一致，资料整理、汇编过程中操作标准不规范，信息数据无法实现共享和交流，更无法为实时化、网络化监控和决策服务。因此，当前亟待加强流域地表水、地下水动态监控能力建设，建议理顺监测与管理体系，实现流域的河-湖-库水系连通和水资源综合调度管理和科学配置。

参考文献

1 庞博, 徐宗学. 河湖水系连通战略研究：理论基础. 长江流域资源与环境, 2015, 24(s1): 138-145.

2 李宗礼, 李原园, 王中根, 等. 河湖水系连通研究：概念框架. 自然资源学报, 2011, 26(3): 513-522.

3 庞博, 徐宗学. 河湖水系连通战略研究：关键技术. 长江流域资源与环境, 2015, 24(s1): 146-152.

4 徐宗学, 庞博. 坚持人水和谐理念,科学认识河湖水系连通问题// 河湖水生态水环境专题论坛论文集. 北京: 北京师范大学出版社, 2011: 1-8.

5 李原园, 黄火键, 李宗礼, 等. 河湖水系连通实践经验与发展趋势. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 81-85.

6 左其亭, 崔国韬. 河湖水系连通理论体系框架研究. 水电能源科学, 2012, (1): 1-5.

7 郭磊, 樊贵玲. 城市水系改造对城市旅游发展的影响探

析——以桂林两江四湖工程为例. 云南地理环境研究, 2008, 20(1): 97-101.
8 徐宗学, 庞博. 科学认识河湖水系连通问题. 中国水利, 2011, (16): 13-16.
9 夏军, 高扬, 左其亭, 等. 河湖水系连通特征及其利弊. 地理科学进展, 2012, 10(1): 26-31.
10 李原园, 郦建强, 李宗礼, 等. 河湖水系连通研究的若干问题与挑战. 资源科学, 2011, 33(3): 386-391.
11 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9.
12 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态保护与可持续管理. 北京: 科学出版社, 2015.
13 郑浩, 王福勇. 对加强塔里木河流域农田水利基本建设、发展节水灌溉若干问题的探讨. 水利发展研究, 2005, 5(3): 27-30.
14 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 塔里木河下游断流河道输水的生态响应与生态修复. 干旱区研究, 2006, 23(4): 521-530.
15 刘亚琦, 刘加珍, 陈永金, 等. 孔雀河下游断流河道的环境特征及物种间关系. 生态学报, 2017, 37(8): 2706-2718.
16 张永雷, 陈亚宁, 杨玉海, 等. 塔里木河河道的历史变迁及驱动力分析. 干旱区地理, 2016, 39(3): 582-589.
17 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 科技支撑新疆塔里木河流域生态修复及可持续管理. 干旱区地理, 2018, 41(5): 3-9.
18 中国新闻网. 新疆哈密特大暴雨引发洪水致20人遇难8人失踪. [2018-08-04]. http://www.chinanews.com/sh/2018/08-04/8589212.shtml.

Study on Water System Connectivity and Ecological Protection Countermeasures of Tarim River Basin in Xinjiang

CHEN Yaning* HAO Xingming CHEN Yapeng ZHU Chenggang
(1 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;
2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The Tarim River is the largest inland river in China, and had historically nine river systems and one main stream with 144 rivers. At present, only the Aksu River, the Hetian River, the Yarkant River, and the Kaidu-Kongque River have surface hydraulic connections with the main stream of the Tarim River. The connectivity of river systems and ecological protection in the Tarim River Basin are very prominent. In the past 30 years, the downstream of the cut-off river has become the most serious area of ecological degradation in the Tarim River Basin. Based on field investigation and sample pilot survey, this paper systematically analyzes the problems existing in the river system connectivity of the Tarim River Basin, and points out that the connectivity of the river system is poor and the ability to withstand extreme climatic hydrological events is insufficient. The area of cultivated land continues to expand, and the proportion of agricultural water use is too high, which strongly occupies the ecological water use, leading to the cutoff of river channels, dismember of rivers, and damage to the integrity of river basin water system. The groundwater overexploitation causes the groundwater level to drop sharply, the surface ecology process is damaged, and the ecology hidden worry is prominent. In view of this, the following points are put forward: (1) promote and realize scientific management of water resources in Tarim River Basin from mechanism and system. Brought the five source streams that have been cut off into the unified management of the Tarim River

* Corresponding author

Basin Authority; (2) determine the appropriate scale of oasis scientifically, and determine the cultivated area and scale of economic development by water resource; (3) implement unified management of surface water and groundwater, and improve the capacity of the monitoring and comprehensive control of water resources in the river basins.

Keywords inland river, water system connected, cut off river, ecological damage, Tarim River Basin



陈亚宁 中国科学院新疆生态与地理研究所研究员、博士生导师，荒漠与绿洲生态国家重点实验室主任，新疆生态学会副理事长，国际水文协会（IAHS）遥感分会副主席。主要从事干旱区水资源与地表过程研究。发表SCI论文300余篇，其中第一作者或通讯作者文章176篇；出版《中国西北干旱区水资源研究》等论著16部；在*Hydrological processes*、*Hydrology and Earth System Sciences*、*Ecohydrology*、*Environmental management*、*Scientific Reports*等SCI期刊编辑专辑5期。成果曾获新疆科技进步奖一等奖5项，国家科技进步奖二等奖4项。荣获新疆科技进步奖特等奖、何梁何利基金科学与创新奖、全国五一劳动奖、全国优秀科技工作者、全国创新争先奖等荣誉。E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

CHEN Yaning Ph.D., doctoral supervisor, professor, Director of State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is the deputy president of Xinjiang Ecological Society, and vice president of Remote Sensing Branch of International Association of Hydrological Sciences (IAHS). He paid much attention and put much effort for promoting water resources and surface processes of arid region studies. He published more than 300 papers indexed by SCI (including 176 papers as first or corresponding authors), and 16 monographs such as *Water Resources Research in Northwest China* etc. Besides, he edited 5 special issues of SCI journals as guest editor (such as *Hydrological Processes, Hydrology and Earth System Sciences, Ecohydrology, Environmental Management*, and *Scientific Reports*). Prof. Chen has won 5 First Class Prizes of Xinjiang Scientific and Technological Progress Award, and 4 Second Class Prizes of the State Scientific and Technological Progress Award. He was selected into the First National Program For Hundreds of Thousands of Talents in The New Century, and won the National May First Labor Medal, Xinjiang Special Prize For Scientific and Technological Progress, Science and Innovation Award of Ho Leung Ho Lee Foundation, National Outstanding Scientific and Technological Workers, National Innovation Competition Award, and other honors. E-mail: chenyn@ms.xjb.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

参考文献（双语版）

1 庞博, 徐宗学. 河湖水系连通战略研究：理论基础. 长江流域资源与环境, 2015, 24(S1): 138-145.

Pang B, Xu Z X. Strategy for the connection of river-lake network system: Theoretical analysis. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(S1): 138-145. (in Chinese)

2 李宗礼, 李原园, 王中根, 等. 河湖水系连通研究：概念框架. 自然资源学报, 2011, 26(3): 513-522.

Li Z L, Li Y Y, Wang Z G, et al. Research on interconnected river system network: Conceptual framework. Journal of Natural Resources, 2011, 26(3): 513-522. (in Chinese)

3 庞博, 徐宗学. 河湖水系连通战略研究：关键技术. 长江流域资源与环境, 2015, 24(S1): 146-152.

Pang B, Xu Z X. Strategy for the connection of river-lake network system: Key techniques. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(S1): 146-152. (in Chinese)

4 徐宗学, 庞博. 坚持人水和谐理念,科学认识河湖水系连通问题// 河湖水生态水环境专题论坛论文集. 北京: 北京师范大学出版社, 2011: 1-8.

Xu Z X, Pang B. Adhere to the concept of harmony between human and water and scientifically understand the connectivity of river and lake systems// Proceedings of Forum on River, Lake, Water Ecology and Water Environment. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 2011: 1-8. (in Chinese)

5 李原园, 黄火键, 李宗礼, 等. 河湖水系连通实践经验与发展趋势. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 81-85.

Li Y Y, Huang H J, Li Z L, et al. Practical experience and development trend of the interconnected river system network. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 81-85. (in Chinese)

6 左其亭, 崔国韬. 河湖水系连通理论体系框架研究. 水电能源科学, 2012, 30(1): 1-5.

Zuo Q T, Cui G T. Study on theoretical system and framework of interconnected river system network. Water Resources and Power, 2012, 30(1): 1-5. (in Chinese)

7 郭磊, 樊贵玲. 城市水系改造对城市旅游发展的影响探析——以桂林两江四湖工程为例. 云南地理环境研究, 2008, 20(1): 97-101.

Guo L, Fan G L. An analysis on the influence of urban water system to tourism development—A case study on Guilin's two-river & four-lake project. Yunnan Geographic Environment Research, 2008, 20(1): 97-101. (in Chinese)

8 徐宗学, 庞博. 科学认识河湖水系连通问题. 中国水利, 2011, (16): 13-16.

Xu Z X, Pang B. Cognition scientifically of river and lake systems interconnection. China Water Resources, 2011, (16): 13-16. (in Chinese)

9 夏军, 高扬, 左其亭, 等. 河湖水系连通特征及其利弊. 地理科学进展, 2012, 31(1): 26-31.

Xia J, Gao Y, Zuo Q T, et al. Characteristics of interconnected rivers system and its ecological effects on water environment. Progress in Geography, 2012, 31(1): 26-31. (in Chinese)

10 李原园, 郦建强, 李宗礼, 等. 河湖水系连通研究的若干问题与挑战. 资源科学, 2011, 33(3): 386-391.

Li Y Y, Li J Q, Li Z L, et al. Issues and challenges for the study of the interconnected river system network. Resources Science, 2011, 33(3): 386-391. (in Chinese)

11 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9.

Chen Y N, Yang Q, Luo Y, et al. Ponder on the issues of water resources in the arid region of northwest China. Arid Land Geography, 2012, 35(1): 1-9. (in Chinese)

12 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态保护与可持续管理. 北京: 科学出版社, 2015.

Chen Y N. Ecological Protection and Sustainable Management of the Tarim River Basin. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese)

13 郑浩, 王福勇. 对加强塔里木河流域农田水利基本建设、发展节水灌溉若干问题的探讨. 水利发展研究, 2005, 5(3): 27-30.

Zheng H, Wang F Y. Exploration on the problems of strengthening irrigation and water conservancy in farmlands and developing water-saving irrigation in Tarim River Basin. Water Resources Development Research, 2005, 5(3): 27-30. (in Chinese)

14 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 塔里木河下游断流河道输水的生态响应与生态修复. 干旱区研究, 2006, 23(4): 521-530.

Chen Y N, Li W H, Chen Y P, et al. Ecological response and ecological regeneration of transfusing stream water along the dried-up watercourse in the lower reaches of the Tarim River, Xinjiang. Arid Zone Research, 2006, 23(4): 521-530. (in Chinese)

15 刘亚琦, 刘加珍, 陈永金, 等. 孔雀河下游断流河道的环境特征及物种间关系. 生态学报, 2017, 37(8): 2706-2718.

Liu Y Q, Liu J Z, Chen Y J, et al. Environmental characteristics and interspecific associations in the lower reaches of the Kongque River. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(8): 2706-2718. (in Chinese)

16 张永雷, 陈亚宁, 杨玉海, 等. 塔里木河河道的历史变迁及驱动力分析. 干旱区地理, 2016, 39(3): 582-589.

Zhang Y L, Chen Y N, Yang Y H, et al. Analysis of historical change and future trends of Tarim River. Arid Land Geography, 2016, 39(3): 582-589. (in Chinese)

17 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 科技支撑新疆塔里木河流域生态修复及可持续管理. 干旱区地理, 2018, 41(5): 901-907.

Chen Y N, Li W H, Chen Y P, et al. Science in supporting the ecological restoration and sustainable development of the Tarim River Basin. Arid Land Geography, 2018, 41(5): 901-907. (in Chinese)

18 中国新闻网. 新疆哈密特大暴雨引发洪水致20人遇难8人失踪. [2018-08-04]. http://www.chinanews.com/sh/2018/08-04/8589212.shtml.

China News Network. The flood triggered by heavy rainstorm in Hami, Xinjiang caused 20 deaths and 8 missing persons. [2018-08-04]. http://www.chinanews.com/sh/2018/08-04/8589212.shtm. (in Chinese)